

## Магнитный отклик субмикронных титаната бария и титаната стронция

Л.Н. Коротков<sup>1</sup>, Н.А. Толстых<sup>1</sup>, Т.Н. Короткова<sup>2</sup>, Н.А. Емельянов<sup>3</sup>, Р.М. Еремина<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Воронежский государственный технический университет, 394026 Воронеж, Россия  
e-mail: l\_korotkov@mail.ru

<sup>2</sup>Воронежский институт МВД РФ, 394065 Воронеж, Россия

<sup>3</sup>Институт проблем химической физики РАН, 141432 Черноголовка, Россия

<sup>4</sup>Казанский физико-технический институт им. Е. К. Завойского, 420029 Казань, Россия

Титанат бария ( $\text{BaTiO}_3$ ) и титанат стронция ( $\text{SrTiO}_3$ ) – известные кристаллы семейства перовскита. Титанат бария является модельным сегнетоэлектриком, титанат стронция – квантовым параэлектриком - сегнетоэластиком. Оба эти материала, а также их твердые растворы нашли широкое применение в устройствах электронной техники.

Электронная структура титаната бария [ $\text{Ba}^{2+}(6s^0)$ ,  $\text{Ti}^{4+}(3d^0)$ ,  $\text{O}^{2-}(2s^2 2p^6)$ ] характеризуется нулевым магнитным моментом. Аналогичной структурой обладает  $\text{SrTiO}_3$ , поэтому оба материала по магнитным свойствам относят к диамагнетикам.

Вместе с тем, периодически в литературе появляются сообщения о наблюдениях парамагнитного, или даже ферромагнитного откликов, при условии, что в этих материалах создана достаточно высокая концентрация определенных дефектов. Такие дефекты можно генерировать, например, путем имплантации низкоэнергетических ионов аргона, или водорода; высокотемпературным отжигом в вакууме, или в атмосфере водорода; неизовалентными замещениями ионов кислорода; ультрафиолетовым облучением и др.

Слабый ферромагнетизм наблюдается в частицах  $\text{BaTiO}_3$  и  $\text{SrTiO}_3$  субмикронных размеров. Считается, что к возникновению магнитного упорядочения приводит высокая концентрация вакансий атомов кислорода, вследствие чего происходит уменьшение степени окисления титана с  $\text{Ti}^{4+}$  до  $\text{Ti}^{3+}$ . Последние обладают нескомпенсированными спинами, взаимодействующими друг с другом при достаточно высокой их концентрации. Вместе с тем, обнаружено, что при высокой степени восстановления  $\text{BaTiO}_{3-\delta}$  ( $\text{SrTiO}_{3-\delta}$ ) парамагнитный отклик ослабляется. Природа слабого ферромагнетизма в наночастицах  $\text{BaTiO}_3$  и  $\text{SrTiO}_3$ , так же как и в ультрадисперсных частицах многих других соединений ( $\text{CeO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{ZnO}$ ,  $\text{SnO}_2$ ,  $\text{In}_2\text{O}_3$ ,  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{GaN}$  и  $\text{CdS}$ ,  $\text{NbN}$  и  $\text{GaN}$  и др.) до сих пор мало изучена.

Цель настоящей работы – обсуждение экспериментальных данных, полученных в ходе исследования магнитных свойств наноструктурированных  $\text{BaTiO}_3$  и  $\text{SrTiO}_3$ , подвергшихся термической обработке в различных условиях.

Для экспериментов были использованы ультрадисперсные коммерческие порошки титаната бария и титаната стронция и порошки, полученные помолком предварительно синтезированных материалов в планетарной мельнице. Размеры частиц варьировались в пределах 50 – 400 нм. Спрессованные образцы подвергались термическому отжигу при различных температурах в окислительной, восстановительной и инертной средах.

Анализ экспериментальных данных, в частности, показал, что:

- Намагниченность нанокристаллического  $\text{BaTiO}_3$  зависит от его термической предыстории. Термический отжиг при температурах ниже 700 °С в атмосфере  $\text{H}_2$  или  $\text{Ar}$  приводит к заметному увеличению намагниченности насыщения  $M_s$ .

- Намагниченность насыщения материала составляет примерно  $\sim 1/d$ , где  $d$  - средний диаметр кристаллита. Это показывает, что намагниченность  $M_s$  пропорциональна общей площади поверхности гранул в образце.

- Увеличение концентрации кислородных вакансий при длительном отжиге в водороде приводит к заметному увеличению диамагнитного отклика и уменьшению намагниченности  $M_s$ .

Полученные результаты обсуждаются.